حماية النظم الكهربائية

حماية المحولات الكهربائية

حماية المحولات الكهربائية

٤

الجدارة : فهم طرق حماية المحولات من الأخطاء الداخلية والخارجية.

الأهداف :

عند إتمام دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب بإذن الله سبحانه من :

١. فهم الحماية التفاضلية وكيفية استخدامها لحماية المحولات..
٢. معرفة حماية المحولات ضد زيادة الحمل.
٣. التعرف على جهاز بوخولز لحماية المحول

مستوى الأداء المطلوب: أن لا تقل نسبة إتقان هذه الجدارة عن ٨٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ٦ ساعات

الوسائل المساعدة:

٣. استخدام الوسائل التعليمية المختلفة.
٤. استخدام المختبر.

متطلبات الجدارة :

١. يجب أن يكون المتدرب ملماً بأساس عمل المصهرات والقواطع والمرحلات حتى يتسنى له تحقيق هذه الجدارة.
٢. أن يكون على معرفة بأساس عمل المحولات وأنواع الأخطاء التي تتعرض لها.

الوحدة الرابعة

حماية المحولات الكهربائية Transformer Protection

٤.١ مقدمة

طريقة حماية المحولات الكهربية تعتمد اعتماداً كلياً على وظيفة وموقع المحول في الشبكة بالإضافة إلى مقنن المحول. فمثلاً محولات التوزيع ذات المقنن الأقل من 2.5 MVA يتم حمايتها بواسطة المصهرات أما المحولات التي يتراوح مقنن قدرتها الظاهرية من 2.5 MVA إلى 5MVA فإن حمايتها تتم باستخدام واحدة من الطريقتين التاليتين :-

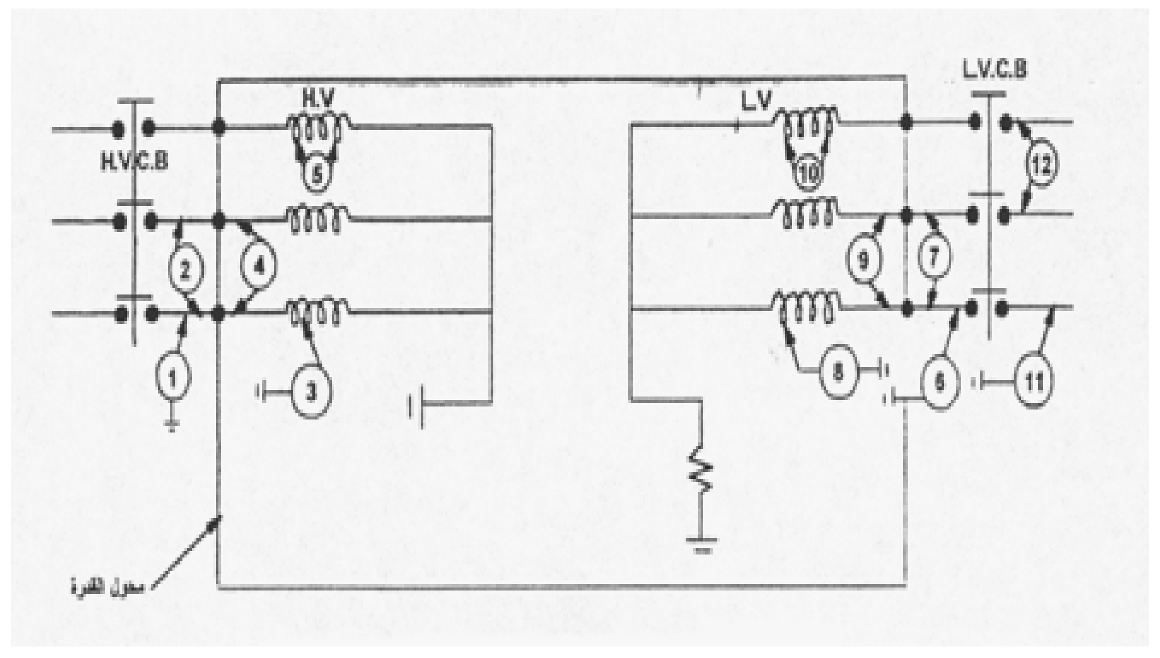
١. الحماية التفاضلية ذات المعاوقة العالية ونوع المرحل المستخدم يكون عادة مرحل الحافظة المنجذبة الذي يتمتع بسرعة فصل عالية.
٢. الحماية التفاضلية الانحيازية التوافقية (Harmonic Biased Differential Protection) ونوع المرحل المستخدم يكون في معظم الأحيان مرحلاً من النوع الحثي القرصي (Induction Disc Relay) .

٤.٢ أنواع الأخطاء وتأثيرها Fault Types and their Effects

لتصميم نظام حماية مناسب لمحولات القدرة لابد من الإلمام بمعظم الأخطاء التي يتعرض لها المحول. الشكل (٤ ـ ١) يبين أنواع الأخطاء المتوقع حدوثها في المحول وهي :

١. قصر خارجي (أرضي) على أطراف كابلات ملفات الجهد العالي.
٢. قصر خارجي (بين وجهين) على أطراف كابلات توصيل ملفات الجهد العالي.
٣. قصر داخلي (أرضي) على أحد ملفات الجهد العالي.
٤. قصر داخلي (بين وجهين) ناحية الجهد العالي.
٥. دائرة قصر بين لفات ملف الجهد العالي.
٦. خطأ خارجي (أرضي) على أطراف أحد كابلات توصيل ملفات الجهد المنخفض.

٧. قصر خارجي (بين وجهين) على أطراف كابلات توصيل ملفات الجهد المنخفض.
٨. قصر داخلي (أرضي) على أحد ملفات الجهد المنخفض.
٩. قصر داخلي (بين وجهين) ناحية ملفات الجهد المنخفض.
١٠. دائرة قصر بين لفات ملف الجهد المنخفض.
١١. قصر أرضي ناحية المولد.
١٢. قصر بين وجهين ناحية المولد.



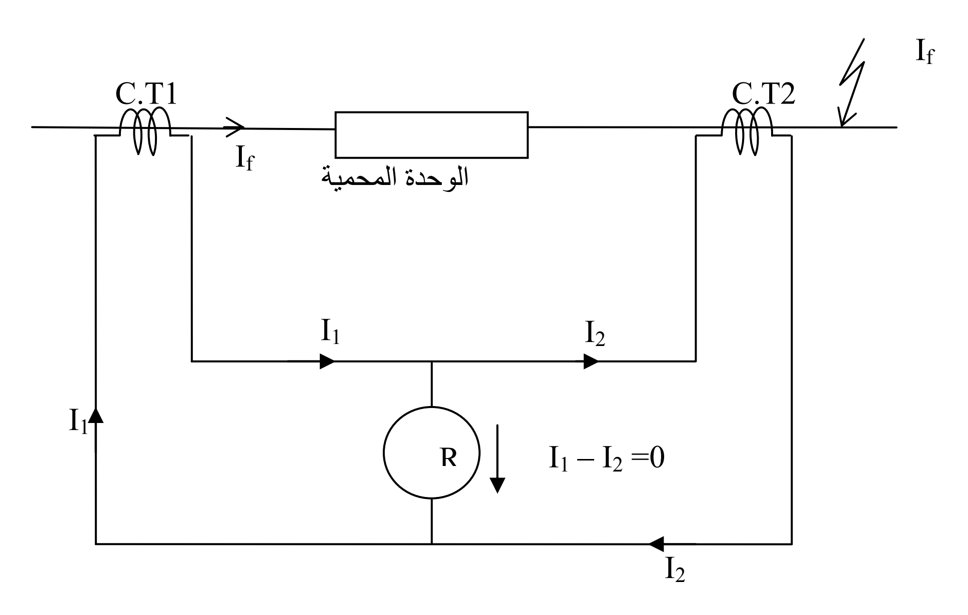
الشكل (٤ ـ ١) الأعطال الشائعة في محول القدرة

٤. ٣ الحماية التفاضلية Differential Protection

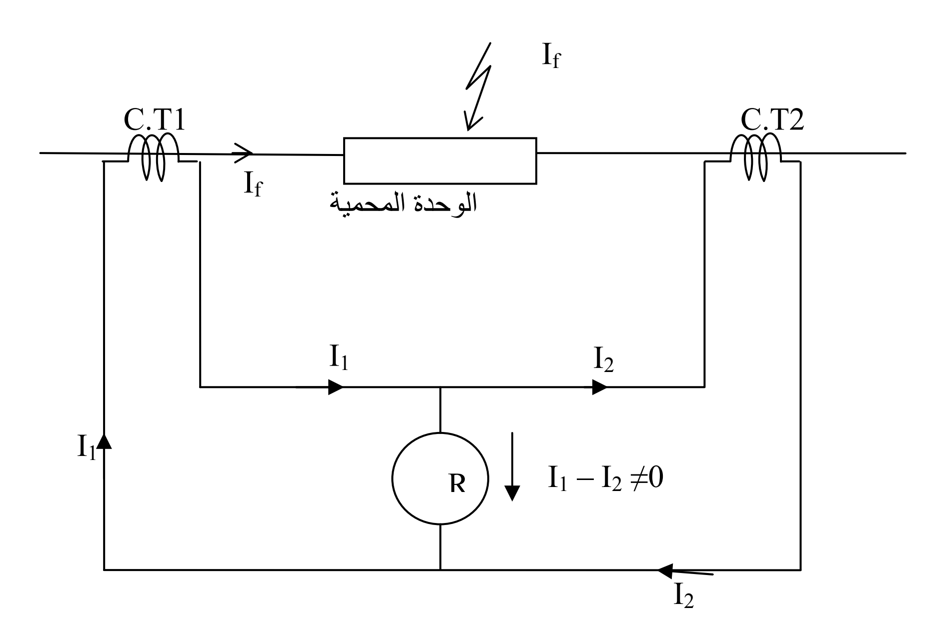
إن استخدام مرحلات زيادة التيار لا يفي بجميع الشروط الوقائية اللازمة في منظومة القدرة الكهربية. فقد لاحظنا بأن زمن الفصل يزيد دائماً باتجاه المصدر بغض النظر عن طريقة التدرج المستخدمة. وهذا بدوره قد يشكل خطراً على محطات التوليد وكذلك على محطات التحويل بالإضافة إلى التأثير المباشر على اتزان الشبكة. لذلك فإن طريقة حماية الوحدة Unit protection أو الحماية التفاضلية Differential protection تستخدم لحماية المولدات والمحولات والمحركات وقضبان الربط Bus bars .

٤. ٣. ١ نظرية عمل الحماية التفاضلية Operation Theory

نظرية عمل المرحلات التفاضلية تعتمد على مبدأ Merz – Price . ببساطة إذا كان التيار الداخل إلى الوحدة المحمية يساوي التيار الخارج منها فإن هذا يعني عدم وجود عطل في المنطقة المحمية والحماية لا تعمل. من ناحية أخرى فإن وجود فرق بين التيار الداخل إلى المنطقة المحمية والخارج من المنطقة المحمية يدل على وجود عطل والحماية في هذه الحالة تعمل لفصل تيار العطل بأسرع ما يمكن. الشكل (٤ ـ ٢) والشكل (٤ ـ ٣)



شكل (٤ ـ ٢) حماية تفاضلية والخطأ خارج منطقة الحماية (المرحل يجب أن لا يعمل)



شكل (٤ ـ ٣) حماية تفاضلية والخطأ داخل منطقة الحماية (المرحل يجب أن يعمل)

ويوضح الشكل (٤ ـ ٢) أن المرحل لا يعمل إذا حدث عطل خارج المنطقة المحمية لأن التيار الذي يمر في المرحل يساوي صفراً وهذا هو المطلوب. ولكن في الحقيقة نجد أن التيار المار في المرحل في هذه الحالة يساوي الفرق بين تيارات المغنطة Magnetising currents المارة في محولات التيار CT_1 , CT_2 . وحتى لو استخدمنا محولات تيار متشابهة تماماً من حيث التيار المقنن والشركة المصنعة ونسبة التحويل فإننا لا نضمن بأن يكون لهما نفس تيارات المغنطة. بمعنى آخر فإنه من الناحية العملية سيكون هنالك فرق في الخواص المغناطيسية للمحولات. هذا الفرق مهما كان طفيفاً سيؤدي إلى عدم اتزان في عمل المرحل وخصوصا نتيجة الأعطال خارج منطقة الحماية. وعمليا تحل هذه المشكلة بإحدى الطريقتين التاليتين:

١.استخدام مرحلات تفاضلية عالية المعاوقة High impedance differential relays
٢.استخدام مرحلات تفاضلية انحيازية Biased differential relays

٤.٤ حماية محولات القدرة باستخدام الحماية التفاضلية
Differential Protection of Power Transformer

لحماية المحولات نتيجة أخطاء داخلية نستخدم إحدى الطريقتين التاليتين :

١.الحماية التفاضلية المنفصلة Separate winding differential protection
٢.الحماية التفاضلية المتكاملة Overall winding differential protection

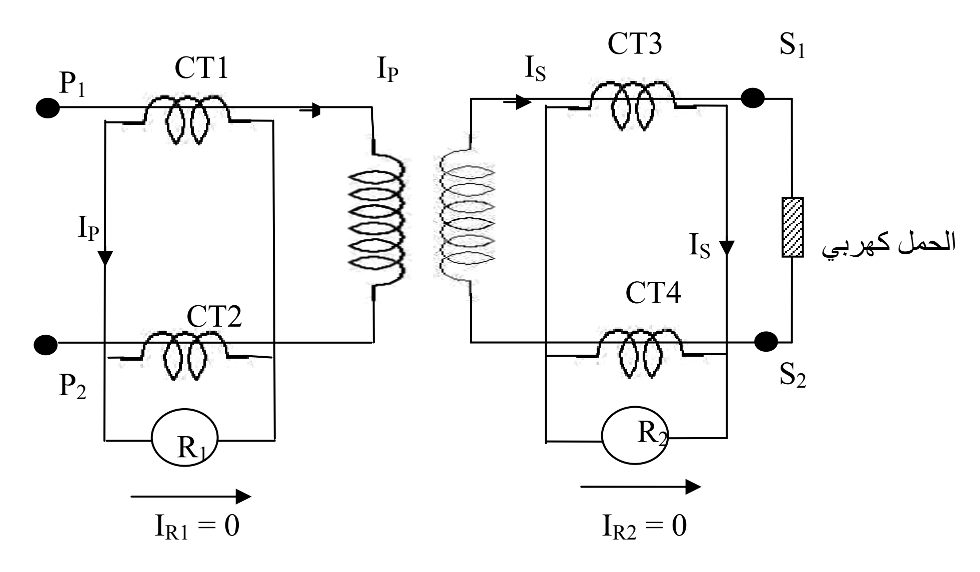
٤.٤.١ الحماية التفاضلية المنفصلة Separate winding differential protection

في هذه الحالة يتم حماية الملفات الابتدائي والثانوي كلاً على حدة ومبدأ عمل هذه الوقاية يمكن فهمه من خلال المحول الأحادي الوجه . تعتمد نظرية الحماية التفاضلية على التوازن بين التيار الداخل إلى والخارج من ملفات المحول كما هو مبين في الشكل (٤ ـ ٤). في هذا النوع من الحماية نستخدم محولي تيار مع مرحل واحد في كل ناحية من الابتدائي والثانوي. ولكي يكون نظام الحماية متزنا يجب أن تتحقق الشروط التالية :

- يجب ألا تعمل الحماية تحت ظروف التشغيل العادية.
- يجب ألا تعمل الحماية نتيجة تيار المغنطة اللحظي المار في محول القدرة لحظة إدخاله إلى الشبكة.

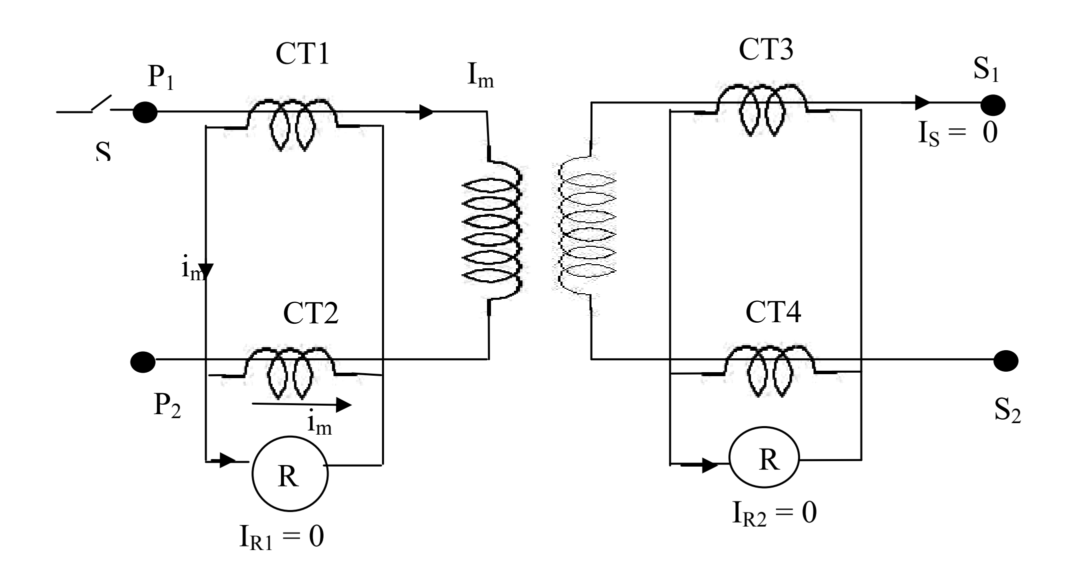
- يجب ألا تعمل الحماية نتيجة خطأ خارجي.
- يجب أن تعمل الحماية نتيجة الخطأ الواقع خلال منطقة الحماية.

الشكل (٤ ـ ٤) يمثل المحول في حالة تحميل عادية. ولذلك فإن التيارات في محول التيارات $C.T_1$, $C.T_2$ متساوية القيمة ومتضادة في الاتجاه وبالتالي فإن المرحل R_1 لا يعمل وكذلك الحال بالنسبة للمرحل R_2



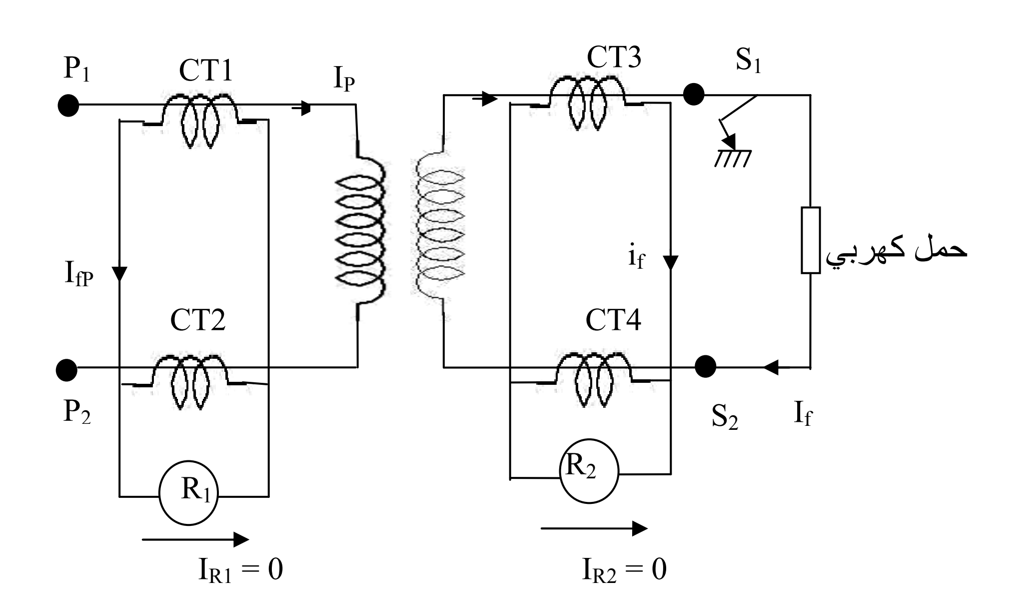
الشكل (٤ ـ ٤) المحول في حالة التشغيل العادية

الشكل (٤ ـ ٥) يمثل المحول لحظة توصيله إلى الشبكة وقبل أن يتم توصيل الحمل على أطراف الثانوي. تيار الثانوي (I_S) في هذه الحالة يساوي صفراً وبالتالي فإن المرحل R_2 لا يعمل. أما التيار الابتدائي لحظة قفل المفتاح S يبدأ بقيمة كبيرة قد تصل إلى $(10 - 8)$ من مقنن تيار المحول. وهذا التيار يسمى تيار المغنطة اللحظي (Magnetizing inrush current) وسيمر هذا التيار (i_m) في كل من محولي التيار CT_1 and CT_2 وفي اتجاهات متعاكسة فتكون محصلة التيار المار في المرحل R_1 صفراً وبالتالي فإن المرحل لا يعمل وهذا هو المطلوب.



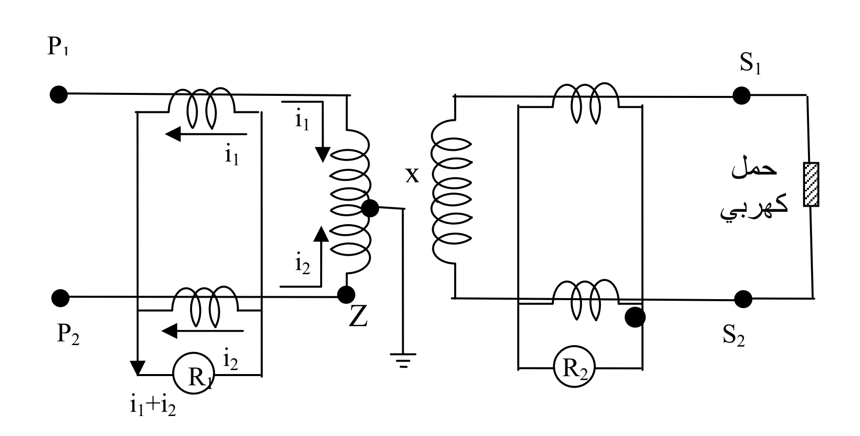
الشكل (٤ ـ ٥) المحول في حالة إدخال إلى الشبكة

الشكل (٤ ـ ٦) يمثل حالة قصر أرضي خارجي على أطراف الملف الثانوي وعليه فإن تيار القصر سوف يمر في محولات التيار CT_3 , CT_4 وفي اتجاهين متضادين وبالتالي فإن التيار الذي يمر في المرحل R_2 سيكون صفراً $(I_{R2} = 0)$. والأمر نفسه ينطبق على المرحل R_1 وهذا هو المطلوب.



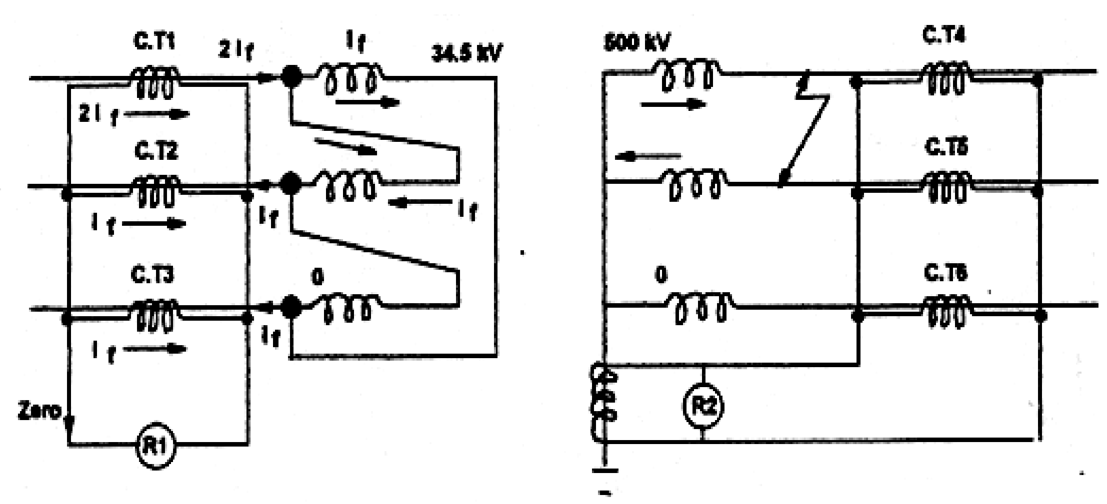
الشكل (٤ ـ ٦) المحول في حالة الخطأ الأرضي الخارجي

الشكل (٤ ـ ٧) يمثل حالة قصر بين ملفات الابتدائي والأرضي عند النقطة X (خطأ داخلي). من الواضح أن التوازن بين التيارات المارة في محولات التيار CT_1 , CT_2 قد انعدم في هذه الحالة. وكلما اقتربت نقطة الخطأ من Z سيزيد I_2 ويقل I_1 وسيعمل المحول في هذه الحالة كمحول ذاتي. ومحصلة التيارين I_2 , I_1 ستمر في المرحل R_1 وتكون كافية لعمل المرحل نتيجة خطأ داخلي.



الشكل (٤ ـ ٧) المحول في حالة قصر بين الملفات الابتدائية والأرض

مما سبق يتضح أن شروط العمل الوقائي الصحيح متوفرة أي أن المرحل لا يعمل تحت ظروف التشغيل العادية أو مع الأخطاء الخارجية أو مع تيار المغنطة اللحظي ويعمل نتيجة الخطأ الداخلي فقط. وعلى ذلك فإنه بالإمكان استخدام هذه الطريقة لوقاية محولات القدرة الثلاثية الأوجه كما هو واضح في الشكل (٤ ـ ٨).



الشكل (٤ ـ ٨) الوقاية الأرضية لمحول نجمة / دلتا باستخدام وقاية تفاضلية منفصلة

المرحلات المستخدمة في حالة الحماية التفاضلية المنفصلة للمحولات تكون عادة من نوع مرحلات الحافظة المنجذبة ذات المعاوقة العالية. وميزة المعاوقة العالية هي ضمان عدم عمل أجهزة الوقاية نتيجة تشبع أحد محولات التيار بسبب خطأ خارجي.

مزايا الوقاية التفاضلية المنفصلة للمحولات يمكن تلخيصها كما يلي :

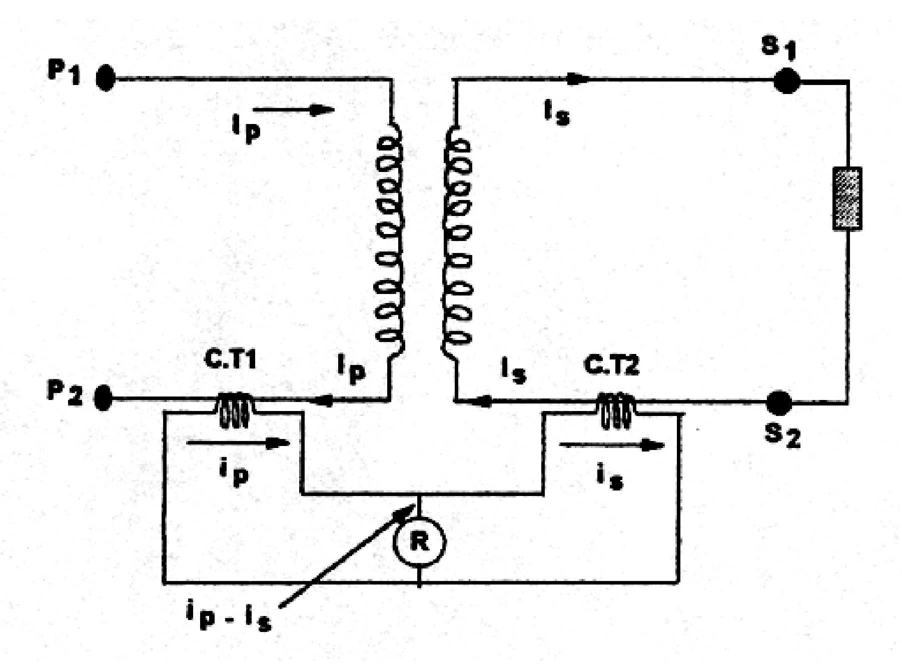
- لا تتأثر بتيار الحمل ولا الأخطاء الخارجية أو تيار المغنطة اللحظي.
- لا تتأثر بنسبة التحويل لمحول القدرة أو محولات التيار.
- تؤمن وقاية كاملة لملفات المحول إذا كانت نقطة تعادل النجمة مؤرضة تأريضاً مباشراً.

أما عيوب هذه الطريقة من الوقاية فتتلخص فيما يلي:

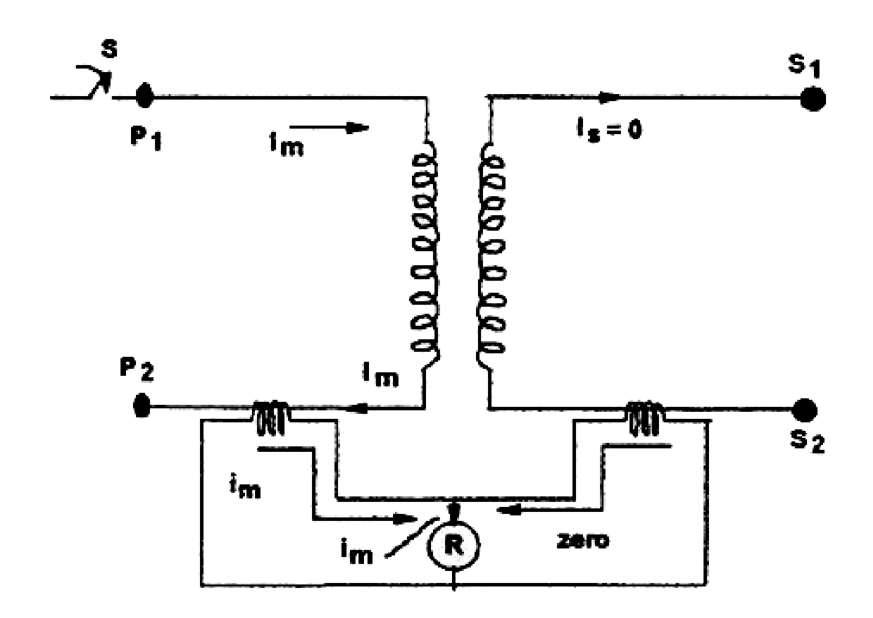
- لا يمكنها كشف حالة القصر الداخلية بين وجهين أو ثلاثة أوجه.
- لا تؤمن وقاية كاملة لملفات المحول إذا كانت نقطة التعادل النجمة مؤرضة من خلال معاوقة أو مقاومة عالية.

٤ . ٤ . ٢ الحماية التفاضلية المتكاملة Overall differential protection

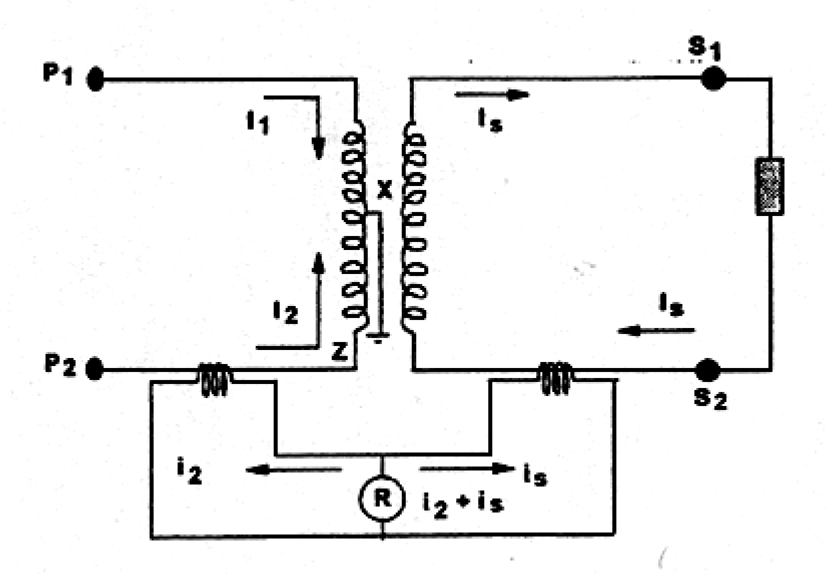
في هذه الحالة يتم وقاية المحول كوحدة متكاملة أي أن شروط التوازن يجب أن تتحقق بين التيار الابتدائي والثانوي كما هو مبين في الشكل (٤ ـ ٩) والشكل (٤ ـ ١٠) والشكل (٤ ـ ١١) وكذلك الشكل (٤ ـ ١٢) .



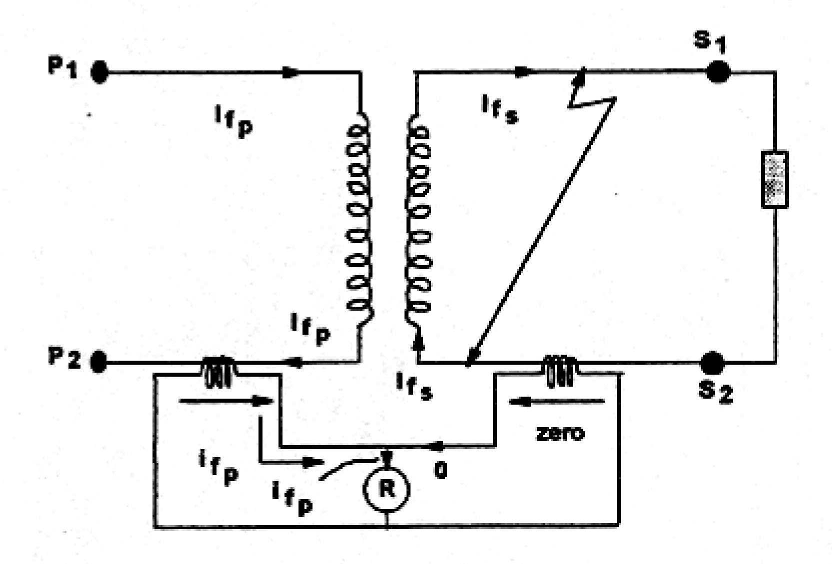
الشكل (٤ ـ ٩) المحول في حالة التشغيل العادية



الشكل (٤ ـ ١٠) المحول في حالة إدخال إلى الشبكة



الشكل (٤ ـ ١١) المحول في حالة قصر بين الملفات الابتدائية والأرض



الشكل (٤ ـ ١٢) المحول في حالة قصر بين الملفات الثانوية

بالنسبة للوقاية التفاضلية المتكاملة يتضح الآتي :

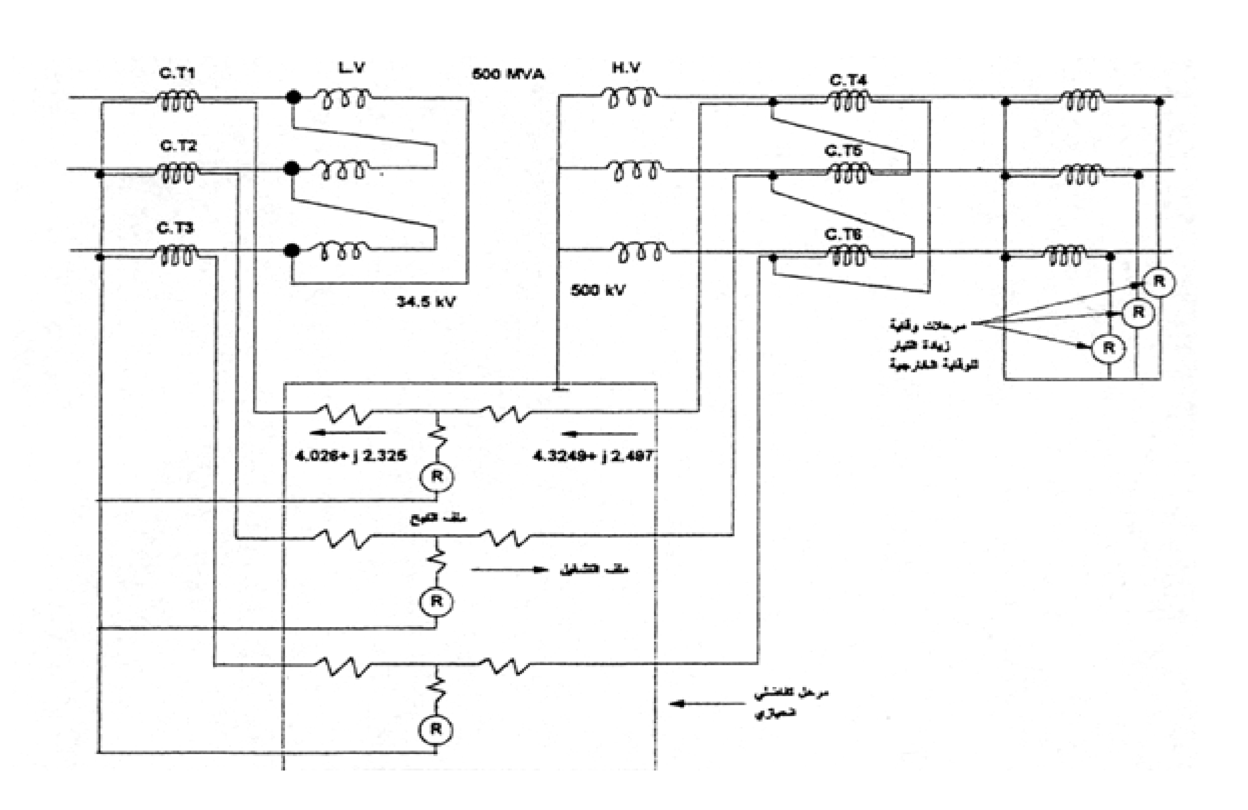
- من الواضح أن هذا النظام الوقائي يتأثر بتيار المغنطة اللحظي الذي يكون مصحوباً بتيارات توافقية عالية التردد من الدرجة الثانية والثالثة ......وهذا شيء غير مرغوب فيه.
- يتأثر هذا النظام من الحماية بالأخطاء الداخلية الأرضية والأخطاء الخارجية بين الأوجه وهذا مطلوب.

- يبقى متزنا تحت ظروف التشغيل العادية والأخطاء الخارجية بشرط أن يتحقق تطابق كلي بين CT_1 ، CT_2 وهذا يصعب تحقيقه عملياً.
- أي عدم تطابق بين CT_1 , CT_2 من ناحية نسبة التحويل أو تيار المغنطة قد يؤدي إلى عمل المرحل تحت ظروف التحميل العادية أو خارج منطقة الحماية أضف إلى ذلك العوامل التالية.

١.وضعية المأخذ وتأثيرها على تيارات الحمل وما قد تسببه من عدم توازن بين تيارات الثانوي في CT_1 , CT_2 تحت ظروف التشغيل العادي والأخطاء الخارجية.

٢. توصيلة Δ - Y في المحولات الثلاثية الوجه التي تسبب انحياز 30^o في زاوية الطور بين تيارات الخط ناحية الـ Δ وناحية Y .

وعلي ذلك فإنه لكي يعمل هذا النظام الوقائي بشكل سليم لابد من تطبيق الوقاية التفاضلية الانحيازية التوافقية. هذا من ناحية ومن ناحية أخرى يتم توصيل محولات التيار ناحية Y - بشكل Δ وناحية الـ Δ بشكل Y حتى نتخلص من ظاهرة الانحياز في زاوية الطور بين التيارات المارة في خطوط الـ Δ و الـ Y كما هو موضح في الشكل (٤ - ١٣).



الشكل (٤ - ١٣) الوقاية التفاضلية الانحيازية الكاملة لمحولات القدرة.

نوع المرحل المستخدم عادة في الوقاية التفاضلية الانحيازية هو المرحل الحثي ذو القرص المتحرك وزمن الفصل يكون قصيراً جداً. ولحماية المحول من الأخطاء الخارجية نستخدم عادة مرحلات زيادة التيار

لكل وجه. هذه المرحلات تعمل كحماية احتياطية للوقاية التفاضلية لأن زمن فصلها عادة يكون أكبر بكثير من زمن فصل المرحلات التي تستخدم في الوقاية الداخلية للمحول.

مثال :

في الشكل (٤ ـ ١٣) اعتبر أن مقنن القدرة الظاهرية للمحول هي 500 MVA والجهد ناحية الدلتا هو 34.5 kV والجهد ناحية النجمة 500 kV . والمطلوب :

١. اختيار نسبة تحويل محولات التيار CT_1 , CT_4

٢.التيار المار في ملف التشغيل والكبح ونسبة الانحياز في الوجه A للمرحل الانحيازي التفاضلي.

الحل

نفرض أن المحول يحمل تيار الحمل الكامل :

$$\mathbf{I_a} = \frac{500 \ X10^6}{\sqrt{3} \ X \ 500 \ X1000} = 577.35\angle 0$$

والتيار في خط الدلتا (الوجه A) هو

$$\mathbf{I_{a\Delta}} = \frac{500 \ X \ 10^6}{\sqrt{3} \ X \ 34.5 \ X \ 1000} = 8367.165\angle 30^\circ$$

إذا نختار نسبة التحويل لمحول التيار CT_1 كما يلي : 9000 / 5

وبالتالي فإن القيمة المطلقة لتيار الثانوي في CT_1 تساوي

$$\frac{8367.165}{1800} = 4.65 \ A$$

وعلي ذلك فإن القيمة الاتجاهية لتيار الثانوي في محول التيار CT_1 هي

$$4.65 \angle 30^\circ = 4.026 + j2.325 \quad A$$

إذا حتى يكون تيار الكبح من الجزء الثاني من ملف الكبح مساوياً (4.65 A) يجب أن تكون نسبة تحويل CT_4 بحيث يكون التيار الثانوي المار فيه مساوياً ($4.65 / \sqrt{3}$) .و حيث إن $I_a = 577.35$ A فإن نسبة التحويل لمحول التيار CT4 هي :

$$CT_4 = -(577.35 / 2.68) = 1077.16 : 5$$

وعلى ذلك نختار نسبة التحويل لمحول التيار CT_4 بنسبة 5 : 1000 .

التيار الذي يمر في الملف الثانوي لمحول التيار CT_4

$$= -\frac{577.35}{200} = -2.88 \text{ A}$$

وعلى ذلك فإن التيار المار في الجزء الثاني من ملف الكبح $= -2.88\sqrt{3}\angle 30^\circ = 4.3249 + j2.497$

وبالتالي فإن التيار المار في ملف التشغيل $I_1 - I_2 = 0.2989 + j0.172$ A

وعليه فإن

$$K_1 = |I_1 - I_2| = 0.344 \text{ A}$$

ولكن

$$[(I_1 + I_2)/2] = 4.17545 + j\,4.822$$

وبالتالي

$$K_2 = |(I_1 + I_2)/2| = 6.374 \text{ A}$$

وعلى هذا فإن

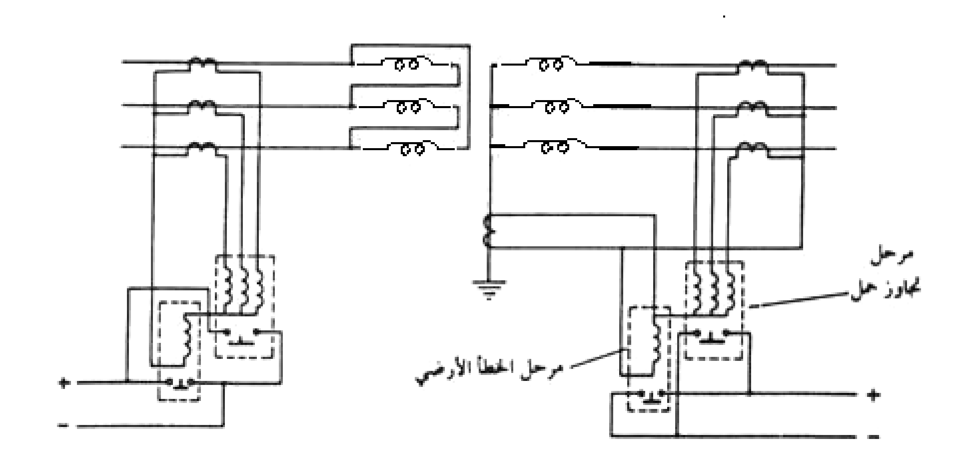
$$K_1 / K_2 = 0.344 / 6.374 = 0.054 = 5.4\ \%$$

وهذه النسبة كما ذكرنا سابقا سببها عدم التطابق الكلي بين محولات التيار ناحية الملفات الثانوي والابتدائي ، لذلك فإن المرحل يجب أن يضبط عند معامل انحياز K أكبر من % 5.4 أي عند K = 10 % .

٤. ٥ حماية المحول ضد زيادة الحمل

لحماية المحولات ضد زيادة الحمل يتم استخدام مرحل تجاوز حمل . ويبين الشكل (٤. ١٤) كيفية حماية المحول الموصل دلتا/ نجمة ضد تجاوز التيار وضد الخطأ الأرضي.





الشكل(٤ ـ ١٤) حماية المحول ضد تجاوز التيار وضد الخطأ الأرضي

٤. ٦ جهاز بوخولز Bucholoz Relay

يستخدم مرحل بوخولز لحماية المحولات المغمورة بالزيت Oil – filled transformers ويبين الشكل (٤ ـ ١٥) وضع الجهاز بالنسبة للمحول وخزان الزيت الإضافي conservator وكذلك أجزاء المرحل نفسه وطرق توصيله إلى جرس الدائرة Alarm أو القاطع الآلي .

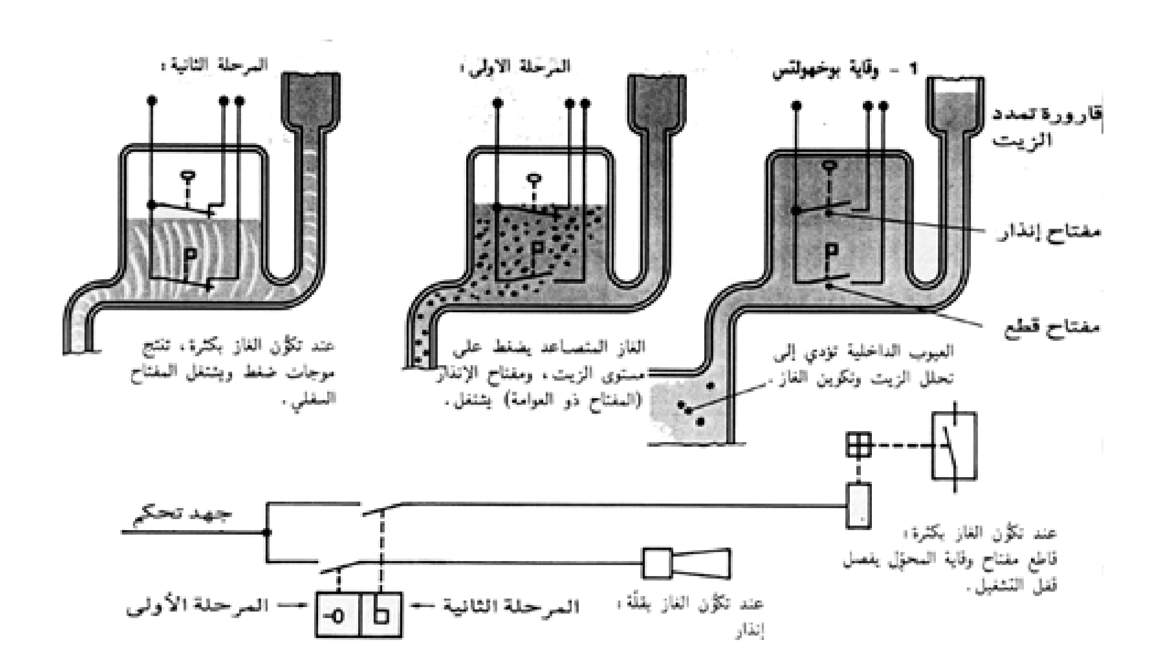
والميزة الأساسية وراء استخدام هذا المرحل ، بالإضافة إلى المرحل الحراري والتفاضلي لحماية المحولات هي مراقبة وكشف الأعطال داخل المحول في مرحلتها الأولى وقبل أن يسبب العطل إتلافا لملفات المحول أو انفجاراً للمحول إذا زادت الغازات القابلة للاشتعال بداخل المحول. وبالنسبة لنظرية عمل هذا المرحل فهي كالتالي :

١. في حالة زيادة الحمل على المحول ترتفع درجة حرارة الزيت إلى درجة أعلى من المعدل المسموح به. وزيادة درجة حرارة الزيت تسبب تبخر للزيت وبالتالي إلى ظهور فقاقيع من غاز الهيدروجين H_2 وأول أكسيد الكربون CO . هذه الفقاقيع تشق طريقها إلى أعلى داخل المحول وتتجمع في أعلى جهاز بوخولز المليء بالزيت عادة. عندها تسقط عوامة مفتاح الإنذار مسببة عمل هذا المفتاح وقفل الملامسات المتصلة بجهاز الإنذار (المرحلة الأولى). أيضاً يسبب المرحل عمل أجهزة الإنذار في حالة انخفاض مستوى الزيت بداخله نتيجة تسرب زيت الخزان الرئيس.

٢. في حالة حصول خطأ شديد داخل المحول (قصر بين الملفات أو قصر بين الملفات والأرضي مصحوباً بشرارة عالية) فإن تكوين فقاعات الغاز سيكون شديداً جداً وعلى شكل نافورة من الغازات مسببة تغيير وضعية العوامة الثانية والتي تقفل الملامسات المتصلة بالقاطع الآلي الرئيس Main circuit

breaker . في هذه الحالة يعمل مرحل بوخولز كحماية احتياطية للحماية التفاضلية (مرحل بوخولز أبطأ من المرحل التفاضلي في العمل وأسرع من مرحل زيادة التيار O/C relay). الشيء الجيد في هذا المرحل أنه مزود أيضاً بصمام يمكن فتحه وأخذ عينات من الغازات المتجمعة لتحليلها.

ومن تحليل عينة الغازات المذابة بالزيت يمكن معرفة نوعية الغازات الموجودة في الزيت وبالتالي يمكن تشخيص نوعية العطل الذي تعرض له المحول وبالتالي عزل المحول عن الشبكة يدوياً إذا لزم الأمر قبل أن يستفحل الخطأ وهذا ما يسمى بالصيانة الوقائية Preventive maintenance . والغازات المذابة داخل الزيت والتي تنتج عن الأخطاء داخل المحول هي غاز الهيدروجين H_2 وأول أكسيد الكربون CO والميثان CH_4 والإيثان C_2H_6 والإسيتلين C_2H_2 وثاني أكسيد الكربون CO_2 . ويمكن استخدام هذه الغازات كأداة تشخيصية للأعطال .فمثلاً وجود غاز الهيدروجين وغاز الإسيتلين يدل على وجود قوس كهربي داخل الزيت Arcing بين الأجزاء المعدنية. ووجود غازات مثل CH_2 , C_2H_4 , C_2H_6, CO_2 يدل على وجود بقعة ساخنة Hot spots داخل ملفات الزيت.



الشكل (٤ ـ ١٥) رسم تفصيلي لمرحل بوخولز

أسئلة الوحدة الرابعة

١. ما العوامل التي تتوقف عليها طريقة حماية المحولات الكهربية؟

٢. اذكر الحماية الأساسية التي يتم استخدامها لحماية المحولات الكهربية بنوعيها محولات التوزيع ومحولات القدرة .

٣. لتصميم نظام حماية مناسب لمحولات القدرة لابد من الإلمام بمعظم الأخطاء التي يتعرض لها المحول. اذكر أهم هذه الأخطاء.

٤. اشرح مع التوضيح بالرسم نظرية وطريقة عمل المرحلات التفاضلية لحماية الوحدات الكهربية.

٥. تمثل تيارات المغنطة في المحولات مشكلة في عمل المرحلات التفاضلية عند استخدامها لحماية المحولات. ما الطرق المستخدمة لحل هذه المشكلة عملياً؟

٦. اشرح مع التوضيح بالرسم كيف يمكن استخدام الحماية التفاضلية لحماية محولات القدرة الكهربية.

٧. ما الشروط التي يجب أن تتحقق لكي يكون نظام الحماية المستخدم في محولات القدرة متزناً؟

٨. اشرح مع التوضيح بالرسم الفرق بين الحماية التفاضلية المنفصلة للمحول والحماية التفاضلية المتكاملة.